

УДК 004.021

**К ВОПРОСУ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ АРТЕФАКТОВ
В ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММАХ**

К.В. Сидоров, И.А. Ребрун, И.А. Тюрина

В настоящее время при регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) возникают артефакты разнообразной природы (записи посторонних процессов, не являющихся непосредственным выражением электрической активности головного мозга [1]), поэтому анализ сигналов ЭЭГ требует предварительной обработки.

Артефакты разделяются по происхождению на две группы [1, 2]: физические (аппаратные) и биологические (физиологические) артефакты. Причина возникновения физических артефактов состоит в нарушении технических правил эксплуатации аппаратуры и регистрации ЭЭГ, а также в несовершенстве оборудования. Причина возникновения физиологических артефактов обусловлена дополнительной регистрацией функциональной активности органов и систем организма помимо головного мозга. Причинами могут служить вызванные потенциалы

движения и моргания глаз (электроокулограмма);
мышечных сокращений (электромиограмма);
мышц и проводящей системы сердца (электрокардиограмма);
глотательных движений;
кожно-гальванических рефлексов.

Целью данного исследования является разработка нового алгоритма автоматической локализации артефактов электроокулограмм (ЭОГ) в многоканальном сигнале ЭЭГ.

За прошедшие десятилетия для решения данной задачи интенсивно применялись различные математические методы анализа, дающие возможность эффективно локализовать и удалять артефактные паттерны ЭОГ.

Разнообразные способы основаны на частотной фильтрации [3]; методе главных компонент (РСА) [4]; методе независимых компонент (ICA) [5]; нейросетевом подходе [6]; вейвлет-анализе [7, 8]; регрессионном анализе [9, 10]; корреляционном анализе [11] и др..

Каждый подход обладает рядом преимуществ и недостатков, поэтому проблема локализации артефактов ЭОГ до сих пор окончательно не решена.

В среде MATLAB авторами разработана программная реализация алгоритма, основанного на методе сегментации кривых и предназначенного для автоматического поиска и удаления артефактов ЭОГ из многоканальных сигналов ЭЭГ (рис. 1).

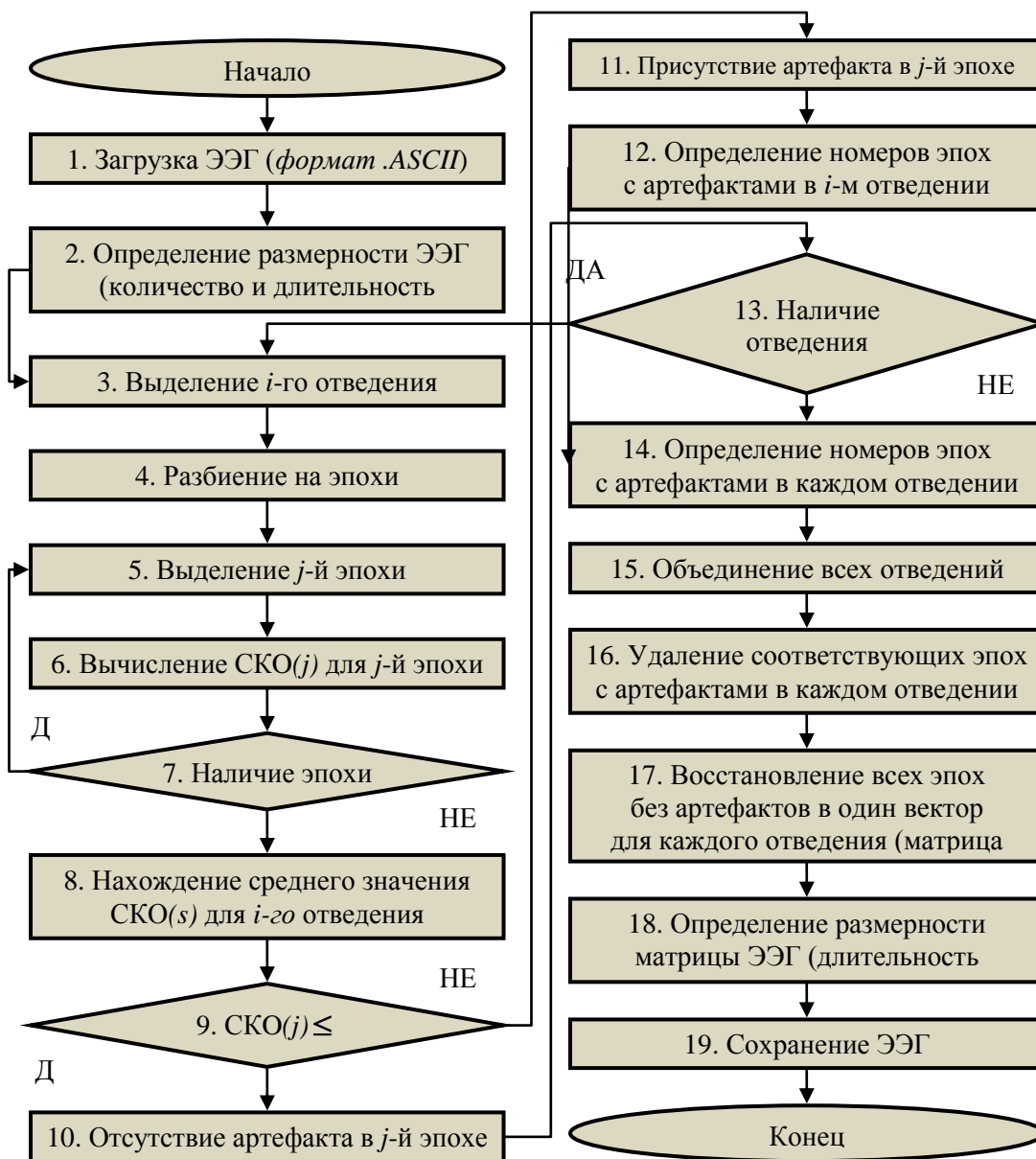


Рис. 1. Алгоритм автоматической локализации артефактов ЭОГ

Работа алгоритма. По каждому главному отведению (временному ряду (ВР)) с помощью расчетного окна b , длина которого равна одной эпохе ($b = 250$ отсчетов, 1 с), вычисляется среднеквадратическое отклонение (СКО) амплитуды ВР:

$$\text{СКО}(j) = \sqrt{N^{-1} \cdot \sum_{l=1}^N (x_l - \bar{x})^2},$$

где $\text{СКО}(j)$ – СКО для j -й эпохи; x_l – l -й элемент j -й эпохи; $l = \overline{1, N}$; N – общее количество элементов в j -й эпохе; \bar{x} – среднее арифметическое j -й эпохи.

Затем расчетное окно перемещается вправо на собственную длину и расчет признака повторяется. Оценки признака $\text{СКО}(j)$ сравниваются с оценкой среднего значения СКО по всему отведению ($\text{СКО}(s)$):

$$CKO_i(s) = M^{-1} \cdot \sum_{k=1}^M CKO(k),$$

где k – номер эпохи в i -м отведении; $k = \overline{1, M}$; M – общее количество эпох в i -м отведении; $i = \overline{1, P}$; P – общее количество отведений в ЭЭГ.

Алгоритм синхронно удаляет соответствующие эпохи (артефакты ЭОГ) во всех отведениях ЭЭГ, для которых $CKO(j) > CKO(s)$ хотя бы в одном из глазных отведений.

Программа позволяет получать информацию о локализованных артефактах ЭОГ из многоканального сигнала ЭЭГ (количество артефактов, графическое представление восстановленной очищенной ЭЭГ и локализованных артефактов). Программная реализация алгоритма подготавливает массивы данных ЭЭГ на основе предложенной системы дискретных признаков, использующей характеристики каждой эпохи по всем отведениям (рис. 2). В основу признаков положены оценки значений CKO, дисперсии, амплитуды, частоты и автокорреляционной функции ВР очищенной ЭЭГ.

Апробация предложенного алгоритма осуществлена на примере реальных клинических записей ЭЭГ, полученных в Тверском государственном техническом университете. При создании базы ЭЭГ, отражающих когнитивную деятельность человека, в качестве испытуемых выступили 16 человек (11 мужчин и 5 женщин) в возрасте от 18 до 27 лет. На данном этапе база состоит из 48 записей ЭЭГ, проанализированных экспертом, выделившим из каждой ЭЭГ артефакты ЭОГ (моргание и движение глаз) разной активности.

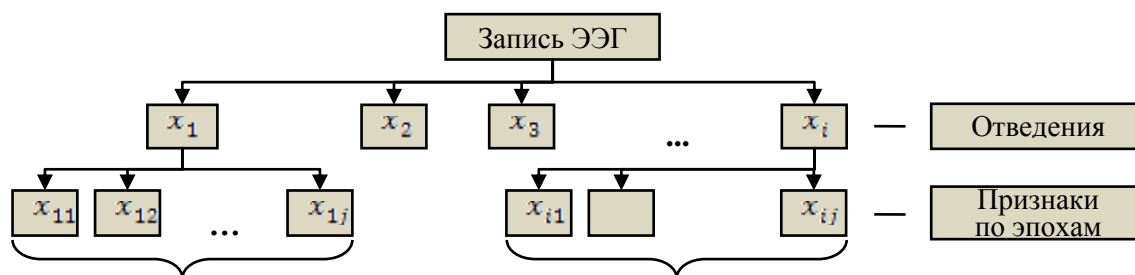


Рис. 2. Формирование оценок дискретных признаков по ЭЭГ

Инструментарий исследований представляет собой аппаратно-программное средство, включающее в себя несколько персональных компьютеров с соответствующим программным обеспечением и подключенным к ним компьютерным энцефалографом «Энцефалан-131-03» (производитель НПФ «Медиком», г. Таганрог).

Для съема ЭЭГ использовалась стандартная система отведений «10-20», запись производилась по 19 отведениям: O2-A2, O1-A1, P4-A2, P3-A1, C4-A2, C3-A1, F4-A2, F3-A1, Fp2-A2, Fp1-A1, T6-A2, T5-A1, T4-A2, T3-A1, F8-A2, F7-A1, Pz-A1, Cz-A2, Fz-A1. Записи ЭЭГ сохранялись в файлах формата (.EEG, .ASCII) с частотой дискретизации 250 Гц и продолжительностью 5 мин. Для регистрации и анализа ЭЭГ применены программы «Encerphalan EEG» и «EEGLAB».

Пример исходной ЭЭГ продолжительностью 2 500 отсчетов (10 с), содержащей выделенные экспертом артефакты ЭОГ в глазных отведениях, которые необходимо программно локализовать при помощи разработанного алгоритма, показан на рис. 3.

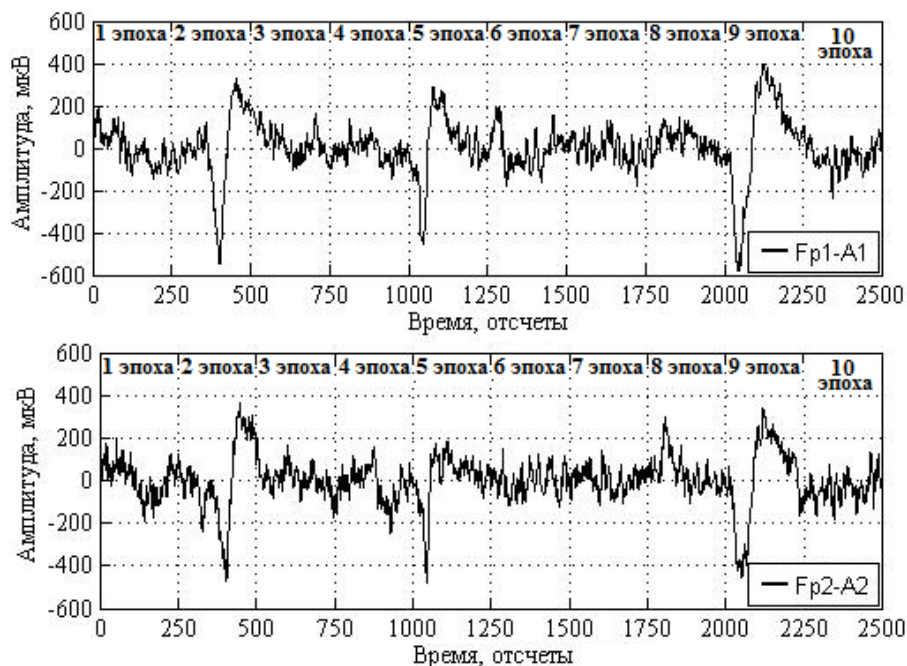


Рис. 3. Исходная ЭЭГ

В таблице отображены результаты работы предложенного алгоритма.

Таблица

Результаты локализации артефактов ЭОГ

Отведение	Fp1-A1									
Эпохи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СКО(j)	78,3	199,2	71,6	47,3	164,3	82,7	60,5	54,1	264,4	58,8
СКО (s)	108,1									
Отведение	Fp2-A2									
Эпохи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СКО(j)	76,7	196,0	57,2	78,6	123,9	57,5	48,4	78,1	217,0	57,6
СКО (s)	99,1									
Локализация артефактов	Номера эпох с артефактами ЭОГ					Номера эпох без артефактов ЭОГ				
	2, 5, 9					1, 3, 4, 6, 7, 8, 10				

Графические представления восстановленного безартефактного сигнала ЭЭГ и локализованных артефактов ЭОГ приведены на рис. 4.

Алгоритм автоматической локализации артефактов ЭОГ, основанный на коррелированности СКО амплитуд по каждому главному отведению ЭЭГ, с высокой надежностью позволяет выделять артефакты и восстанавливать очищенный сигнал. Работоспособность предложенного алгоритма обнаружения артефактов ЭОГ доказана на реальных сигналах ЭЭГ.

Разработанный алгоритм может быть применен при предварительной обработке сигналов ЭЭГ. Результаты работы планируется использовать при построении автоматизированной системы отчистки сигнала ЭЭГ от физических и физиологических артефактов.

Недостаток предложенного алгоритма заключается в том, что он приводит к потере некоторых участков ЭЭГ, поскольку вырезается весь участок многоканального сигнала ЭЭГ, хотя артефакты ЭОГ проявляются в основном в главных отведениях.

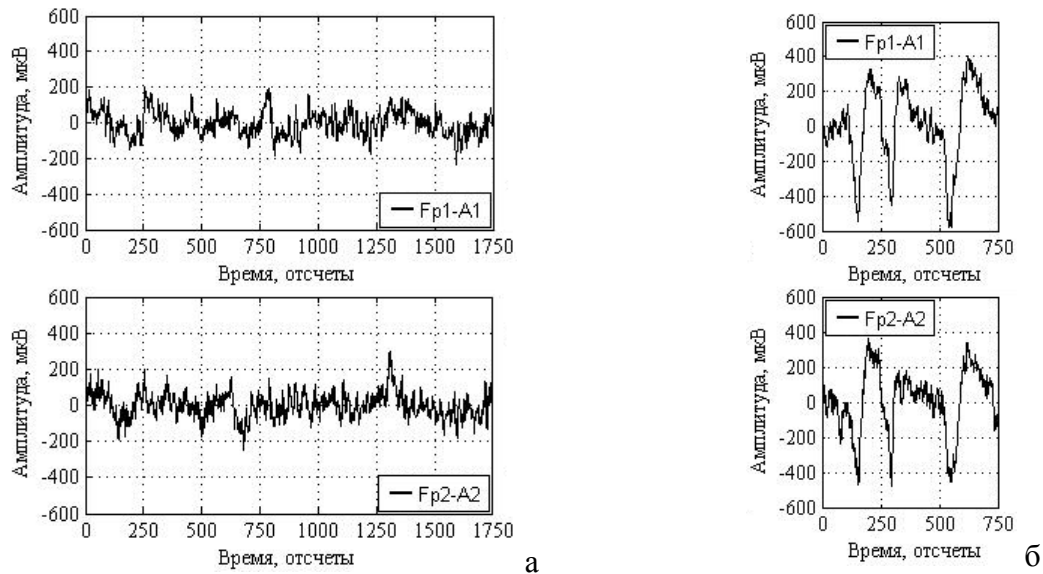


Рис. 4. ЭЭГ с глазами отведениями Fp1-A1 и Fp2-A2:
 а – восстановленная очищенная ЭЭГ; б – локализованные артефакты ЭОГ

Библиографический список

1. Сахаров, В.Л. Методы математической обработки электроэнцефалограмм: учебное пособие / В.Л. Сахаров, А.С. Андреев. Таганрог, 2000. 44 с.
2. Зенков, Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) / Л.Р. Зенков. Таганрог: Издательство ТРТУ, 1996. 358 с.
3. Введение в цифровую фильтрацию / Под ред. Р. Богнера и А. Константинодиса; пер. с англ. М.: «Мир», 1976. 216 с.
4. Kayser, J. Optimizing PCA methodology for ERP component identification and measurement: theoretical rationale and empirical evaluation / J. Kayser, C.E. Tenke // *Clinical Neurophysiology*, 2003. № 114. P. 2307-2325.
5. Delorme, A. Automatic artifact rejection for EEG data using high-order statistics and independent component analysis / A. Delorme, S. Makeig, T Sejnowski // *Proceedings of the Third International ICA Conference*, 2001. P. 9-12.
6. Erfanian, A. Real-time ocular artifact suppression using recurrent neural network for electro-encephalogram based brain-computer / A. Erfanian, B. Mahmoudi // *Med. Biol. Eng. Comput.*, 2005. V. 43. № 2. P. 296.
7. Абдуллаев, Н.Т. Применение нейронных сетей для выявления артефактов электроэнцефалографического сигнала, представленного вейвлетпакетным отображением / Н.Т. Абдуллаев, О.А. Дышин, Х.З. Самедова // *Медицинская техника*, 2009. № 4. С. 42–46.
8. Krishnaveni, V. Automatic Identification and Removal of Ocular Artifacts from EEG using Wavelet Transform / V. Krishnaveni, S. Jayaraman, S. Aravind, V. Hariharasudhan, K. Ramadoss // *Measurement Science Review*. V. 6. S. 2. № 4. 2006. P. 45–57.
9. Woestengurg, J.C. The removal of the eye movement artifact from the EEG by regression analysis in the frequency domain / J.C. Woestengurg, M.N. Verbaten, J.L. Slangen // *Biological Physiology*. 1982. № 16. P. 127–147.
10. Машеров, Е.Л. Об одном подходе в удалении пространственно некоррелированных артефактов из ЭЭГ / Е.Л. Машеров, П.Е. Волынский, Г.А. Щекутьев // *Физиология человека*, 2009. Т. 35. № 4. С. 124–134.
11. Бендат, Дж. Применения корреляционного и спектрального анализа: Пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол; пер. с англ. М.: «Мир», 1983. 3